Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 2, May-June 2024, p. 223-237

The Effect of Shrub Cover on Some Soil Properties in a Semi-arid Climate

Z. Sohrabzadeh[1], Y. Kooch[2*]

1 and 2- M.Sc. Student and Associate Professor, Department of Range Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: yahya.kooch@modares.ac.ir)

Received: 18-12-2023 Revised: 02-03-2024 Accepted: 05-03-2024 Available Online: 05-03-2024	**How to cite this article:** Sohrabzadeh, Z., & Kooch, Y. (2024). The effect of shrub cover on some soil properties in a semi-arid climate. *Journal of Water and Soil, 38*(2), 223-237. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85947.1364

Introduction

Shrub covers play a pivotal role in pasture ecosystems, exerting considerable influence on various biochemical processes that occur within the habitat and surface layers of the soil. Despite their significance, there is a scarcity of research exploring the impact of different types of shrubs covers on soil properties within pasture ecosystems. Consequently, this present study was undertaken to address this gap in knowledge and investigate the effects of shrub cover on soil characteristics specifically within a semi-arid climate, which is known for its delicate and vulnerable habitats.

Materials and Methods

The implementation of this research involved the consideration of the mountainous region of Kiakola, Nowshahr city. The current investigation focused on assessing the impact of various shrubs, namely *Carpinus orientalis* Miller, *Crataegus microphylla* C. Koch, *Berberis integerrima* Bunge, *Prunus spinosa* L., and *Rhamnus pallasii* Fisch. and C. A. Mey, on specific soil properies within the mountainous area of Kiakla, Nowshahr city. To carry out this research, 15 sites were selected for each of the aforementioned shrub species. Soil samples were collected from under the canopy of these species, specifically at a depth of 0-10 cm and a surface area of 30 cm × 30 cm. A total of 75 soil samples were then taken to the laboratory for analysis. The samples were divided into two parts: one part underwent physical and chemical tests after air-drying and passing through a 2 mm sieve, while the other part was stored at 4 degrees Celsius for biological tests. The presence or absence of significant differences in soil properties related to the type of shrub cover under investigation was determined using a one-way analysis of variance test. Principal component analysis (PCA) was utilized to establish the relationship between different soil characteristics within the studied shrub covers.

Results and Discussion

According to the findings of this investigation, alterations in the shrub species present in the examined pasture habitat resulted in modifications to the majority of soil quality properties. Nevertheless, no statistically significant disparity was observed in the quantity of soil organic matter. However, it is worth noting that the quantity of organic matter in the subsoil of Carpinus species exceeded that of the other examined shrubs. Carpinus and Crataegus shrubs were associated with the lowest values of bulk density, while the shrubs under investigation had no significant impact on soil particle density. Furthermore, the subsoil of the Carpinus shrub cover exhibited the highest values of soil porosity. In the studied area, the most stable soil aggregates were observed beneath the Carpinus and Rhamnus shrubs. The subsoil of Rhamnus and Carpinus shrubs exhibited the highest and lowest quantities of sand, respectively. Similarly, the subsoil of Carpinus and Rhamnus displayed the highest and lowest quantities of clay, respectively. The soil under Rhamnus displayed the highest ratio of CR and MCR indices,

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85947.1364

whereas the subsoil of Carpinus exhibited the lowest values of these indices. Fulvic and humic acids demonstrated the greatest values beneath the Carpinus, Crataegus, Berberis, Prunus, and Rhamnus shrubs, respectively, following a comparable pattern. Additionally, the subsoil of Carpinus exhibited the greatest quantity of microbial ratio, while the soil under Rhamnus displayed the lowest quantity of this characteristic. The outcomes of the principal component analysis (PCA) revealed that the quantity of organic matter, clay content, fulvic and humic acids, porosity, and stability of soil aggregate in the soil beneath Carpinus played a significant role in enhancing the soil microbial ratio of this shrub in comparison to the other shrubs.

Conclusion

The findings of this investigation validate the capability of Carpinus foliage to ensure the conservation of soil quality indicators on the hilly grasslands of northern Iran. Therefore, it is proposed that restoration efforts be conducted in the designated region and other areas with similar ecological conditions. Additionally, it is recommended that special attention be given to the implementation of Carpinus and other indigenous shrub species to protect soil integrity.

Keywords: *Carpinus orientalis,* Microbial ratio, Organic acids, Organic matter, Shrub land

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۸، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۳، ص. ۲۳۷-۲۲۳

تأثیر پوشش‌های درختچه‌ای بر برخی ویژگی‌های خاک در یک اقلیم نیمه‌خشک

زینب سهراب‌زاده[۱]- یحیی کوچ[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

چکیده

درختچه‌ها از مهم‌ترین اجزای اکوسیستم‌های مرتعی به شمار می‌آیند. با این حال مطالعات اندکی در خصوص تأثیر نوع پوشش‌های درختچه‌ای بر ویژگی‌های خاک اکوسیستم‌های مرتعی انجام شده است. در پژوهش حاضر، اثر پوشش درختچه‌ای لور (*Carpinus orientalis* Miller.)، سرخه‌ولیک (*Crataegus microphylla* C. Koch.)، زرشک (*Berberis integerrima* Bunge.)، آلوچه وحشی (*Prunus spinosa* L.) و سیاه تنگرس (*Rhamnus pallasii* Fisch. and C. A. Mey) بر برخی ویژگی‌های خاک در بخش کوهستانی کیاکلا شهرستان نوشهر مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌منظور انجام این پژوهش، تعداد ۱۵ پایه از هر یک از گونه‌های درختچه‌ای اشاره شده انتخاب شد. در زیر تاج پوشش این گونه‌ها، نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری و در یک سطح ۳۰ × ۳۰ سانتی‌متر برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. مطابق با یافته‌های این پژوهش، بیشترین مقادیر ویژگی‌های تخلخل، پایداری خاکدانه، محتوی رس، اسیدهای فولویک و هیومیک و سهم میکروبی در خاک زیر پوشش درختچه‌ای لور مشاهده شد. در حالی‌که کم‌ترین مقادیر جرم مخصوص ظاهری، محتوی شن، شاخص‌های نسبت رس و نسبت رس اصلاح شده، نسبت شن به سیلت و نسبت سیلت به رس به خاک تحت تاج‌پوشش این گونه درختچه‌ای اختصاص داشت. ویژگی‌های ماده آلی، جرم مخصوص حقیقی و محتوی سیلت خاک تفاوت آماری معنی‌داری در بین پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه نشان ندادند. نتایج این پژوهش مؤید آن است که وجود پوشش درختچه‌ای لور می‌تواند منجر به بهبود وضعیت ویژگی‌های کیفیت خاک در مراتع کوهستانی شمال کشور گردد. در همین راستا پیشنهاد می‌شود برای احیاء اراضی تخریب‌یافته مرتعی در منطقه مورد مطالعه و همچنین مناطقی با شرایط اکولوژیکی مشابه، در کنار سایر گونه‌های درختچه‌ای بومی منطقه، توجه ویژه به استفاده از گونه لور برای حفاظت خاک گردد.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای آلی، سهم میکروبی، لور، ماده آلی، مرتع مشجر

مقدمه

مراتع، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اشکال پوشش گیاهی، سطح گسترده‌ای از اراضی جهان را پوشانده است (Sircely *et al.*, 2019). بیش از نیمی از سطح اراضی ایران را نیز اکوسیستم‌های مرتعی پوشش داده‌اند که جزء مهم‌ترین منابع تجدید شونده بشمار می‌آیند (Khatoony & Kolahy, 2021). مراتع از نظر اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و در صورتی‌که به‌طور صحیح مدیریت و بهره‌برداری شوند می‌توانند نقش مهمی در شکوفایی اقتصادی هر کشور ایفا کنند (Sala *et al.*, 2017). پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین عوامل در پیدایش خاک است و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Soltani Toolarood *et al.*, 2019). پژوهش‌های متعددی در مورد اثر گونه های گیاهی بر روی ویژگی‌های خاک صورت گرفته است (Zhang *et al.*, 2019; Weidlich *et al.*, 2020; Moscatelli *et al.*, 2022). این اثرات می‌تواند به تنوع گونه‌های گیاهی بستگی داشته باشد که شامل کیفیت و سرعت تجزیه لایه آلی، مواد غذایی خاک، تنفس ریشه و جذب مواد مغذی و نیز تأثیر بر جوامع میکروبی و جانوری خاک می‌باشد (Qu *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2018). رویشگاه‌های مرتعی با توجه به ساختار چشم‌انداز از گونه‌های گیاهی با فرم‌های رویشی علفی، درختچه‌ای و درختی تشکیل شده‌اند. پوشش‌های درختچه‌ای، از مهم

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: yahya.kooch@modares.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jsw.2024.85947.1364

ترین اجزای اکوسیستم‌های مرتعی هستند و اثرات آن بر برخی از فرآیندهای بیوشیمیایی بستر رویشگاه و لایه‌های سطحی خاک شناخته شده است (Kooch & Noghre, 2020). بنابراین نوع گونه‌های درختچه‌ای اثر قابل توجهی بر کیفیت خاک رویشگاه دارد (Soltani Toolarood *et al.*, 2019). در همین راستا، کیفیت خاک را می‌توان با ادغام ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک ارزیابی کرد (Kooch *et al.*, 2020).

محتوی ماده آلی خاک، شاخص کلیدی کیفیت و حاصلخیزی خاک محسوب می‌شود. مواد آلی از طریق فراهم‌سازی انرژی، فعالیت‌های زیستی خاک را تقویت و به شکل مستقیم ویژگی‌های خاک را اصلاح و از آلودگی و تخریب خاک جلوگیری می‌کنند (Qu *et al.*, 2016). این ترکیبات نسبت به فعالیت‌های انسانی مانند شیوه‌های مدیریت زمین آسیب‌پذیر هستند و با توجه به مقادیر متفاوت مواد آلی در پوشش‌های مختلف اراضی، شناخت اثرات گونه‌های گیاهی مختلف بر مواد آلی خاک ضرورت دارد. درختچه‌های مختلف با تحریک تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، کیفیت و کمیت مواد آلی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Liu *et al.*, 2018). از نظر اکولوژیکی، خواص فیزیکی خاک دارای اهمیت زیادی می‌باشند، بطوری که ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک از ویژگی‌های فیزیکی آن تأثیر می‌پذیرد. حضور پوشش‌های گیاهی از گونه‌های مختلف در عرصه‌های مرتعی نقش بسیار مهمی در تغییرپذیری ویژگی‌های فیزیکی خاک دارند. ویژگی‌های فیزیکی خاک تحت شرایط طبیعی با تأثیر پوشش‌های گیاهی در یک دوره طولانی توسعه پیدا می‌کند (Osman, 2013). محتوی کل مواد آلی شامل ترکیبات هیومیکی و غیرهیومیکی است. اجزای هیومیکی نسبت به ساختارهای غیرهیومیکی مواد آلی ترکیبات پایدارتری هستند که نقش مؤثری در جریان مواد مغذی نظام‌های بوم‌شناختی دارند و بخش قابل توجهی از کل کربن و نیتروژن آلی خاک را تشکیل می‌دهند (Guimarães *et al.*, 2013). ترکیبات هیومیکی ظرفیت بافری خاک را بهبود می‌بخشند، ظرفیت نگهداشت رطوبت خاک را افزایش می‌دهند، موجب دسترسی گیاه به ریز مغذی‌ها شده و از طریق ایجاد پیوند با فلزات، موجب کاهش سمیت فلزات سنگین در خاک می‌شوند. این ترکیبات ۴۰-۶۰ درصد از مواد آلی خاک را تشکیل داده و شامل سه بخش کلی ترکیبات هیومین (ذرات نامحلول هیومیکی)، هیومیک اسید (ذرات محلول در شرایط قلیایی) و فولویک اسید (ذرات محلول در شرایط اسیدی و قلیایی) می‌باشند (Lopez *et al.*, 2008).

سهم میکروبی، شاخص مناسبی از وضعیت توزیع کربن فعال خاک بین بخش زنده و غیرزنده بوده و کیفیت کربن خاک را بیان می‌کند. سهم میکروبی بیانگر یک رابطه متقابل بین زی‌توده میکروبی کربن و معدنی‌شدن کربن آلی خاک است. به‌عبارت دیگر، این نسبت به‌عنوان پیش‌ماده در دسترس و بخشی از کربن کل تثبیت شده در سلول‌های میکروبی تفسیر می‌شود (Yang *et al.*, 2010). مقادیر بالای سهم میکروبی نشان‌دهنده نرخ بیشتر معدنی‌شدن است که باعث افزایش مصرف مواد مغذی خاک می‌گردد، همچنین نشان می‌دهد که نگهداری همان مقدار میکروارگانیسم به انرژی کمتری نیاز دارد که بیانگر عملکرد بالاتر خاک برای رشد میکروب‌های خاک است (Wen *et al.*, 2014). مرور منابع حاکی از آن است که مطالعه و ارزیابی در خصوص بررسی تأثیر پوشش‌های درختچه‌ای بر ویژگی‌های خاک در یک اقلیم نیمه خشک (که دارای رویشگاه‌هایی با شرایط حساس و شکننده می‌باشند) کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این‌رو تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر پوشش‌های درختچه‌ای بر ویژگی‌های خاک در یک اقلیم نیمه-خشک، به مطالعه اثر پوشش درختچه‌ای لور (*Carpinus orientalis* Miller.)، سرخه‌ولیک (*Crataegus microphylla* C. Koch.)، زرشک (*Berberis integerrima* Bunge.)، آلوچه وحشی (*Prunus spinosa* L.) و سیاه تنگرس (*Rhamnus pallasii* Fisch. and C. A. Mey) بر برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در بخش کوهستانی کیاکلا شهرستان نوشهر پرداخته است.

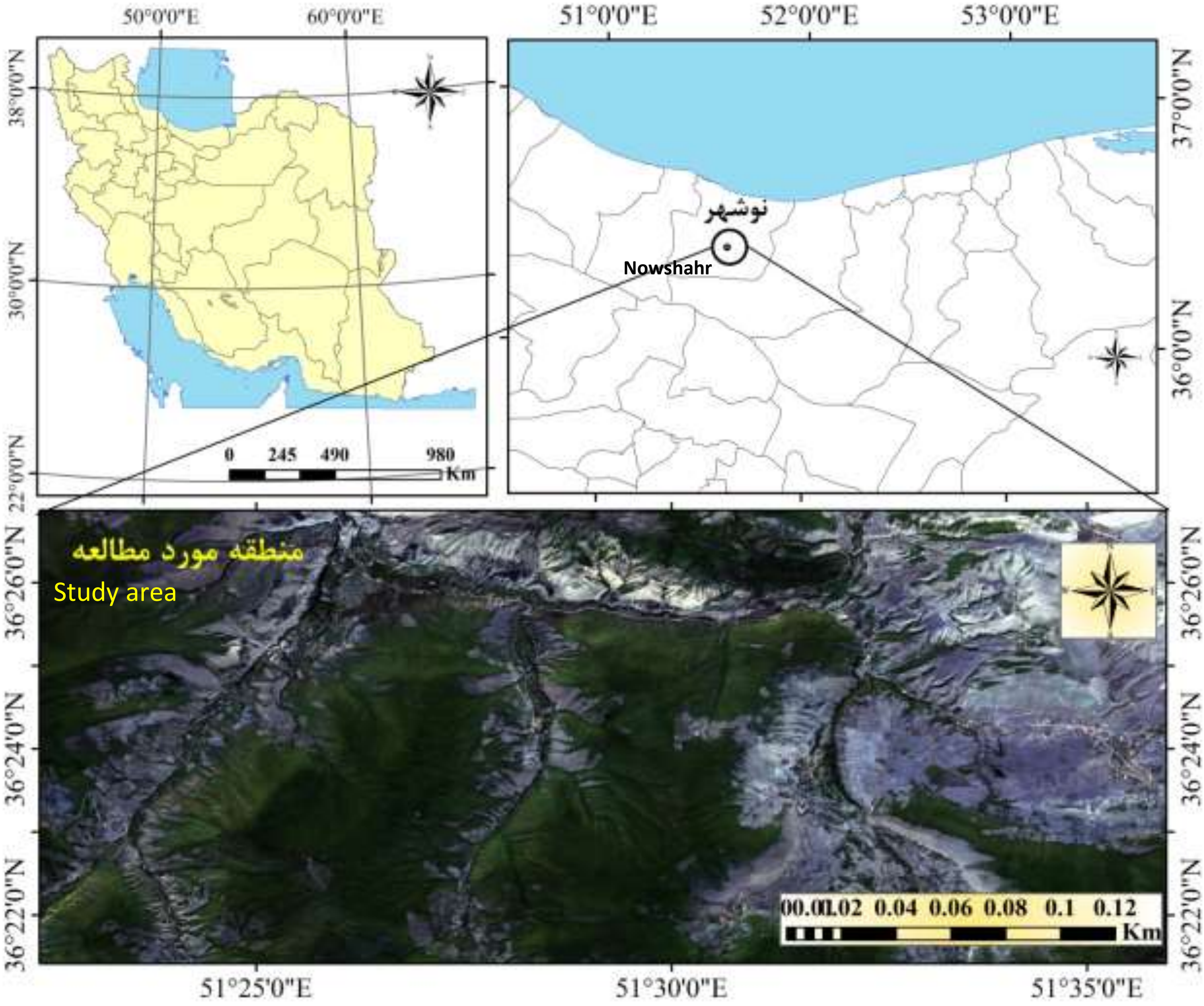
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

به‌منظور اجرای این پژوهش، بخش کوهستانی کیاکلا شهرستان نوشهر (شکل ۱)، که به‌صورت پیوسته با هم بوده و دارای حداقل اختلاف ارتفاع از سطح دریا، حداقل تغییر درصد و جهت شیب می‌باشند، مورد توجه قرار گرفت. متوسط ارتفاع از سطح دریا ۱۵۰۰ متر و شیب عمومی منطقه شرقی- غربی بوده که بطور متوسط حدود ۱۰ درصد می‌باشد. براساس اطلاعات ۳۰ ساله نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی، ایستگاه کلیماتولوژی نوشهر، میزان بارندگی متوسط سالیانه در این منطقه ۳۶۵ میلی‌متر و پتانسیل تبخیر سالیانه آن برابر با ۱۳۰۰ میلی‌متر است. حداقل دما ۶ درجه سانتی‌گراد در بهمن‌ماه و حداکثر دما ۲۱ درجه سانتی‌گراد در مردادماه می‌باشد. میزان بارندگی سالیانه در این محدوده ۳۶۵ میلی‌متر بوده که حداقل آن در تیر و حداکثر آن در مهرماه می‌باشد. گرم‌ترین ماه سال، تیر و مرداد با میانگین دمای ۲۹/۲ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال، بهمن با میانگین دمای ۲/۶ درجه سانتی‌گراد است. از نظر شرایط آب و هوایی، براساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، این منطقه در اقلیم نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود. منطقه مورد مطالعه توسط پوشش‌های درختچه‌ای از گونه‌های مختلف پوشیده شده است. در پژوهش حاضر، گونه‌های درختچه‌ای غالب منطقه شامل لور[1]،

1- *Carpinus orientalis* Miller.

سرخه‌ولیک[۱]، زرشک[۲]، آلوچه وحشی[۳] و سیاه تنگرس[۴] مورد توجه است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران، شمال ایران

Figure 1- Location of the studied area in Mazandaran province, North of Iran

روش نمونه‌برداری و تجزیه آزمایشگاهی

به‌منظور انجام این پژوهش، ابتدا تعداد ۱۵ پایه از هر یک از گونه های درختچه‌ای اشاره شده انتخاب شد. برای برداشت نمونه‌های خاک ابتدا شعاع تاج درختچه‌های مورد مطالعه با متر نواری مشخص شدند و سپس در فاصله ½ (نصف) شعاع تاج، نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری و در یک سطح ۳۰ × ۳۰ سانتی‌متر در چهار جهت (چهار نمونه) برداشت شد. نمونه‌های برداشت شده در زیر تاج هر پایه با هم ادغام گردید، به‌طوری‌که در مجموع ۷۵ نمونه خاک برداشت و به آزمایشگاه انتقال یافت. اندازه‌گیری کربن آلی به روش والکلی‌بلاک (Nelson & Sommers, 1996) و سپس مقدار ماده آلی با ضرب مقدار کربن آلی در ضریب[۵] ۱/۷۲۴ (Alison, 1965; Tan, 2005) به‌دست آمد. پس از اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه (Plaster, 1985) و جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر، تخلخل خاک با توجه به مقادیر جرم مخصوص ظاهری و حقیقی محاسبه شد (Blake & Hartge, 1986). پایداری خاکدانه براساس روش الک تر (Yoder, 1936)، بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتر (Gee &

1- *Crataegus microphylla* C. Koch.
2- *Berberis integerrima* Bunge.
3- *Prunus spinosa* L.
4- *Rhamnus pallasii* Fisch. and C. A. Mey.
5- Van Bemmelen factor

(Orr, 2002) اندازه‌گیری و سپس شاخص نسبت رس (CR) با رابطه (شن + سیلت / رس) (Bouyoucos, 1962) و شاخص اصلاح شده نسبت رس (MCR) با رابطه (شن + سیلت / رس + ماده آلی) (Kumar et al., 1995) محاسبه شد. به‌منظور تعیین اسیدهای آلی خاک ابتدا نمونه‌های خاک تحت تیمار هیدروکلریک اسید ۰/۱ نرمال قرار گرفتند. سپس عصاره‌گیری خاک با ۵۰ میلی‌لیتر سدیم هیدروکسید ۰/۱ مولار در پیرو فسفات ۰/۱ مولار انجام شد. پس از سه بار تکرار عصاره قلیایی شده توسط هیدروکلریک اسید ۲ نرمال، تا pH ۲ اسیدی شد. مخلوط به‌دست آمده به خوبی همزده شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. سپس با استفاده از سانتریفیوژ اسید فولویک ازبخش جامد (ذرات اسید هیومیک) جدا شد. فرآیند ته‌نشینی و سانتریفیوژ تا خالص‌سازی نسبی بخش اسید هیومیک تکرار شد (Vorobeichik, 1997Neher et al., 2005). سهم میکروبی خاک، پس از اندازه‌گیری میزان زی‌توده میکروبی کربن به روش تدخین- استخراج (Brookes et al., 1985) و تعیین کربن آلی، بااستفاده از رابطه نسبت زی‌توده میکروبی کربن به کربن آلی محاسبه شد (Parkinson & Coleman, 1991).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در اولین مرحله، نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و همگن بودن واریانس داده‌ها با استفاده از آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. بدنبال حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، به منظور مطالعه تفاوت یا عدم تفاوت مقادیر مشخصه‌های مختلف خاک در ارتباط با نوع پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه استفاده شد. آزمون دانکن ($p < ۰/۰۵$) نیز جهت مقایسه چندگانه میانگین‌ها به‌کار گرفته شد. تجزیه و تحلیل آماری کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ صورت پذیرفت. همچنین برای انجام آنالیز چند متغیره و تعیین ارتباط بین مشخصه‌های مختلف خاک در پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ایجاد ماتریس حاصله در برنامه PC - ORD تحت Windows مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج شاخص‌های آماری توصیفی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تحت پوشش‌های درختچه‌ای لور، سرخه‌ولیک، زرشک، آلوچه وحشی و سیاه‌تنگرس را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس ویژگی‌های خاک، حاکی از اثرات معنی‌دار نوع پوشش‌های گیاهی درختچه‌ای بر بسیاری از ویژگی‌های مورد مطالعه خاک می‌باشد (جدول ۲).

تغییرات ماده آلی خاک تحت پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه تفاوت آماری معنی‌داری را نشان نداد، در هر حال بیشترین مقادیر این ویژگی در خاک زیر تاج‌پوشش گونه لور اندازه‌گیری شد. در ارتباط با ماده آلی خاک، لی و همکاران (Lai et al., 2016) بیان کردند که، گونه‌های مختلف درختچه‌ای می‌توانند اثرات متفاوتی بر میزان مواد آلی خاک داشته باشد. در همین راستا، اگرچه مطابق با پژوهش حاضر تفاوت آماری معنی‌داری در میزان ماده آلی خاک مشاهده نشد اما مقادیر ماده آلی در خاک زیر تاج گونه لور بیشتر از سایر درختچه‌های مورد مطالعه بوده است (جدول ۲ و ۳). مطابق با گزارش شه‌پیری (Shahpiri, 2022)، در مقایسه با غالب گونه‌های درختچه‌ای مراتع مشجر شمال ایران، گونه لور دارای ساختار تاجی گسترده‌تری بوده و میزان برگ‌ریزی بسیار زیادی دارد. همچنین، وی اشاره داشته است که لاشبرگ این گونه درختچه‌ای دارای کیفیت بالایی است که مورد پسند بسیاری از خرده‌ریزخواران و تجزیه‌کنندگان است. بر همین اساس مقادیر عددی ماده آلی خاک تحت پوشش درختچه‌ای لور بیشتر از سایر پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه بوده است. کمترین مقادیر مشخصه جرم مخصوص ظاهری در خاک زیر تاج‌پوشش درختچه لور و سرخه‌ولیک به ثبت رسید، در حالی‌که پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه اثر معنی‌داری بر جرم مخصوص حقیقی خاک نداشتند. بیشترین مقادیر تخلخل خاک نیز به خاک زیر تاج‌پوشش درختچه لور تعلق داشت، در حالی‌که کمترین مقادیر این مشخصه در خاک زیر تاج سیاه تنگرس و آلوچه وحشی مشاهده شدند (جدول ۲ و ۳). کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل خاک تحت پوشش درختچه‌ای لور می‌تواند در ارتباط با میزان ماده آلی خاک باشد. در واقع، تغییر میزان مواد آلی ورودی به خاک می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های دیگر خاک را نیز تحت تأثیر قرار دهد. در همین راستا، تجمع بیشتر مواد آلی منجر به کاهش جرم مخصوص ظاهری (Wulanningtyas et al., 2021) و همچنین افزایش تخلخل خاک (Schwendenmann et al., 2003) می‌شود. در منطقه مورد مطالعه، پایدارترین خاکدانه‌ها به‌ترتیب تحت پوشش درختچه‌ای لور و سرخه ولیک به ثبت رسید. پایداری خاکدانه‌ها غالباً متأثر از میزان رس و مواد آلی خاک می‌باشد (Boudjabi & Chenchouni, 2022). با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، به‌دلیل وجود مواد آلی و رس بیشتر در خاک زیر تاج‌پوشش درختچه لور، میزان پایداری خاکدانه‌ها نیز افزایش معنی‌داری داشته است. خاک زیر تاج‌پوشش درختچه سیاه تنگرس دارای بیشترین مقدار شن و خاک تحت گونه لور دارای کمترین مقدار این مشخصه خاک بوده است. محتوی سیلت خاک تفاوت آماری معنی‌داری را در بین پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه نشان ندادند، در حالی‌که حداکثر و حداقل مقدار رس به‌ترتیب متعلق به خاک زیر تاج‌پوشش درختچه‌های لور و سیاه تنگرس بود (جدول ۲ و ۳).

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی‌های مختلف خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Descriptive statistics of different soil properties in the study area

ویژگی‌های خاک **Soil properties**	تعداد **Number**	میانگین **Mean**	انحراف معیار **Std. Deviation**	اشتباه معیار **Std. Error**	فاصله اطمینان ۹۵ ٪ برای میانگین **95% Confidence Interval for Mean**		حداقل **Minimum**	حداکثر **Maximum**
					کران پایین **Lower Bound**	کران بالا **Upper Bound**		
ماده آلی Organic matter (%)	75	7.38	3.07	0.35	6.67	8.09	3.68	16.84
جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g cm^{-3})	75	1.29	0.15	0.02	1.25	1.32	1.01	1.65
جرم مخصوص حقیقی Particle density (g cm^{-3})	75	2.40	0.23	0.03	2.35	2.45	1.15	2.88
تخلخل Porosity (%)	75	0.46	0.10	0.01	0.43	0.48	0.15	0.62
پایداری خاکدانه Aggregate stability (%)	75	58.49	12.32	1.42	55.65	61.32	33.46	80.74
شن Sand (%)	75	26.80	6.86	0.79	25.22	28.38	17	41
سیلت Silt (%)	75	40.03	7.71	0.89	38.25	41.80	21	57
رس Clay (%)	75	33.17	6.68	0.77	31.64	34.71	19	48
شاخص CR CR Index	75	2.15	0.71	0.08	1.99	2.31	1.08	4.26
شاخص MCR MCR Index	75	1.75	0.54	0.06	1.62	1.87	0.91	3.51
شاخص شن/ سیلت Sand/Silt Index	75	0.72	0.31	0.04	0.65	0.79	0.33	1.62
شاخص سیلت / رس Silt/Clay Index	75	1.29	0.47	0.05	1.18	1.40	0.47	2.75
سید فولویک Fulvic acid (mg 100 g^{-1} soil)	75	115.23	65.50	7.56	100.16	130.30	6	425
اسید هیومیک Humic acid (mg 100 g^{-1} soil)	75	61.08	58.49	6.75	47.62	74.54	3	303
سهم میکروبی Microbial ratio (MBC/Corg)	75	60.86	34.40	3.97	52.95	68.78	18.19	210.54

جدول ۲- تجزیه واریانس ویژگی‌های مختلف خاک تحت پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه
Table 2- Variance analysis of different soil properties under the studied shrub cover

ویژگی Properties	منبع تغییرات Source of Variation	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	مقدار F F value	معنی‌داری Significance
ماده آلی Organic matter (%)	بین گروه‌ها Between groups	19.06	4	4.76	0.491	0.742^{ns}
	درون گروه‌ها Within groups	679.42	70	9.70		
	کل Total	698.48	74			
جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g cm^{-3})	بین گروه‌ها Between groups	0.69	4	0.17	13.754	0.000^{**}
	درون گروه‌ها Within groups	0.88	70	0.01		
	کل Total	1.57	74			
جرم مخصوص حقیقی Particle density (g cm^{-3})	بین گروه‌ها Between groups	0.03	4	0.01	0.013	1.000^{ns}
	درون گروه‌ها Within groups	4.03	70	0.05		
	کل Total	4.04	74			
تخلخل Porosity (%)	بین گروه‌ها Between groups	0.15	4	0.04	4.427	0.003^{**}
	درون گروه‌ها Within groups	0.62	70	0.09		
	کل Total	0.78	74			
پایداری خاکدانه Aggregate stability (%)	بین گروه‌ها Between groups	4135.90	4	1033.97	10.197	0.000^{**}
	درون گروه‌ها Within groups	7097.98	70	101.40		
	کل Total	11233.89	74			
شن Sand (%)	بین گروه‌ها Between groups	1740.26	4	435.06	17.445	0.000^{**}
	درون گروه‌ها Within groups	1745.73	70	24.93		
	کل Total	3486.00	74			
سیلت Silt (%)	بین گروه‌ها Between groups	107.81	4	26.95	0.439	0.780^{ns}
	درون گروه‌ها Within groups	4296.13	70	61.37		
	کل Total	4403.94	74			
رس Clay (%)	بین گروه‌ها Between groups	1928.08	4	482.02	24.545	0.000^{**}
	درون گروه‌ها Within groups	1374.66	70	19.63		

	کل Total	3302.74	74			
شاخص CR CR Index	بین گروه‌ها Between groups	21.67	4	5.41	24.737	0.000**
	درون گروه‌ها Within groups	15.33	70	0.21		
	کل Total	37.01	74			
شاخص MCR MCR Index	بین گروه‌ها Between groups	12.15	4	3.04	27.702	0.000**
	درون گروه‌ها Within groups	9.37	70	0.13		
	کل Total	21.53	74			
شاخص شن/ سیلت Sand/Silt Index	بین گروه‌ها Between groups	1.24	4	0.31	3.972	0.009**
	درون گروه‌ها Within groups	5.94	70	0.08		
	کل Total	7.19	74			
شاخص سیلت / رس Silt/Clay Index	بین گروه‌ها Between groups	3.96	4	0.99	5.492	0.001**
	درون گروه‌ها Within groups	12.62	70	0.18		
	کل Total	16.58	74			
اسید فولویک Fulvic acid (mg 100 g^{-1} soil)	بین گروه‌ها Between groups	149785.28	4	37446.32	15.635	0.000**
	درون گروه‌ها Within groups	167653.86	70	2395.05		
	کل Total	317439.14	74			
اسید هیومیک Humic acid (mg 100 g^{-1} soil)	بین گروه‌ها Between groups	129701.38	4	32425.34	18.391	0.000**
	درون گروه‌ها Within groups	123420.13	70	1763.14		
	کل Total	253121.52	74			
سهم میکروبی Microbial ratio (MBC/Corg)	بین گروه‌ها Between groups	20151.83	4	5037.95	5.230	0.001**
	درون گروه‌ها Within groups	67428.16	70	963.36		
	کل Total	87579.99	74			

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p≤0.01$ and $p≤0.05$, respectively.

بافت خاک یکی از ویژگی‌های ثابت خاک بوده و تغییر آن در اثر نوع پوشش‌های گیاهی و در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نمی‌باشد، در هر حال تغییر نوع پوشش گیاهی می‌توانند در یک دوره بلندمدت بر تغییرات اجزای بافت خاک مؤثر واقع گردند (Woloszczyk *et al*., 2020). در پژوهش حاضر نیز با توجه به متفاوت بودن نوع گونه‌های درختچه‌ای، تفاوت‌های آماری معنی‌داری در بین اجزای شن و رس خاک مشاهده شد (جدول ۲). در همین راستا نتایج مطالعات مختلف (Augusto *et al*., 2002Levula *et al*., 2003; نشان می‌دهد پوشش‌های گیاهی مختلف با تفاوت در مواد آلی ورودی و تأثیر بر فعالیت موجودات خاکزی می‌توانند در بلند مدت باعث تغییرات در بافت خاک شوند. به‌طوری‌که

افزایش مواد آلی خاک در زیر تاج‌پوشش لور با افزایش میزان چسبندگی ذرات خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌ها (Carpenter & Chong, 2010) مانع از شستشوی خاک و از دست رفتن ذرات ریز مثل رس می‌شود. به‌علاوه تجمع بیشتر رس در زیر تاج پوشش درختچه‌های لور احتمالاً به خاطر وجود تاج پوشش بسته‌تر این گونه می‌باشد، در حالی که خاک زیر تاج‌پوشش سایر گونه‌های درختچه‌ای مورد مطالعه به‌دلیل باز بودن قسمت‌های فوقانی، بیشتر تحت تأثیر بارش‌های سالیانه قرار گرفته و منجربه آبشویی ذرات رس از لایه‌های بالایی خاک و تجمع آنها در لایه‌های پایینی (فرآیند آب‌شویی رس) می‌شوند (Beuschel *et al.*, 2020).

بیشترین نسبت شاخص‌های CR و MCR به خاک زیر تاج‌پوشش سیاه تنگرس تعلق داشت، در حالی‌که خاک لور دارای کمترین مقدار این شاخص‌ها بوده‌اند. خاک گونه سیاه‌تنگرس دارای بالاترین نسبت شن به سیلت بوده و سایر گونه‌های درختچه‌ای تفاوت آماری معنی‌داری را از نظر این شاخص خاک نداشتاند. بالاترین مقدار نسبت سیلت به رس خاک در زیر پوشش درختچه‌ای سیاه‌تنگرس بوده و کمترین آن در زیر پوشش‌های درختچه‌ای لور و سرخه ولیک بوده‌اند (جدول ۲ و ۳). مقادیر بالاتر شاخص‌های CR و MCR (و همچنین نسبت‌های بزرگتر شن به سیلت و سیلت به رس) حاکی از مستعد بودن بیشتر خاک به فرسایش می‌باشد (Olaniya *et al.*, 2020). مقادیر بالای شاخص های فرسایش‌پذیری در خاک زیر تاج‌پوشش درختچه سیاه تنگرس می‌تواند بیانگر مستعد بودن خاک زیر تاج‌پوشش این گونه درختچه‌ای به فرسایش باشد. این موضوع از جنبه مدیریتی بسیار حائز اهمیت است بطوری‌که برای جلوگیری از فرسایش خاک می‌توان از سایر گونه‌های دیگر (به‌ویژه گونه درختچه‌ای لور) برای احیای اراضی تخریب‌یافته و یا تقویت رویشگاه‌ها برای حفاظت از خاک استفاده نمود.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ترکیبات هیومیکی در نتیجه اثر پوشش‌های درختچه‌ای مختلف تفاوت آماری معنی‌داری داشته‌اند (جدول ۲). به‌طوری‌که اسیدهای فولویک و هیومیک با روندی مشابه به‌ترتیب تحت پوشش درختچه‌ای لور، سرخه‌ولیک، زرشک، آلوچه وحشی و سیاه تنگرس بیشترین مقادیر را نشان داده‌اند (جدول ۳). روند یکسان تغییر اسید فولویک و هیومیک با توجه به اینکه ابتدا اسید فولویک و سپس در طول تجزیه به‌دنبال فعالیت‌های میکروبی اسید هیومیک تولید می‌شود طبیعی است (Sigurdsson & Gudleifsson, 2013). صیقلانی و همکاران (Seyghalani *et al.*, 2015) در بررسی اثر پوشش‌های گیاهی مختلف بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک، افزایش اسید فولویک و اسید هیومیک را مرتبط با محتوی بیشتر بقایای آلی بیان کردند که مشابه نتایج بررسی حاضر است. بنابراین افزایش ترکیبات اسید فولویک و اسید هیومیک تحت پوشش درختچه‌ای لور نتیجه حجم بیشتر مواد آلی است. کوتزه و همکاران (Kotzé *et al.*, 2016) افزایش محتوی اسید فولویک خاک را نتیجه نرخ بیشتر بازگشت اسید فولویک نسبت به دیگر ترکیبات هیومیکی بیان کردند. همچنین همبستگی منفی جرم مخصوص ظاهری و اسیدهای آلی مذکور (مطابق نتایج PCA) بیانگر حفاظت فیزیکی بقایا توسط ذرات خاک است که منجر به کاهش دسترسی جوامع میکروبی به مواد آلی و افزایش اسید فولویک و هیومیک خاک می‌شود (Sigurdsson & Gudleifsson, 2013). در این دسته از مواد آلی، هوموس شامل ترکیبات غیرهیومیکی و ناپایدار است درحالی‌که افزایش ترکیبات هیومیکی در خاک نیازمند جریان ورودی دائم و ماندگاری بالای بقایای آلی است و هرچه میزان تخریب و تجزیه ماده آلی تشدید شود تشکیل هوموس در فرم پایدار کاهش می‌یابد (Kooch *et al.*, 2016).

خاک زیر تاج‌پوشش لور دارای بیشترین مقدار سهم میکروبی و خاک زیر تاج‌پوشش سیاه تنگرس دارای کمترین مقدار این ویژگی بوده است (جداول ۲ و ۳). در مقابل افزایش مقدار ماده آلی، محتوی رس، اسیدهای فولویک و هیومیک، تخلخل و پایداری در خاک تحت گونه لور نقش مؤثری در افزایش سهم میکروبی خاک این گونه درختچه‌ای در مقایسه با سایر درختچه‌ها داشته است (شکل ۲). سهم فعالیت‌های میکروبی خاک در بیشتر رویشگاه‌ها بسیار برجسته بوده و تغییرات کوچک در زی‌توده‌های میکروبی و کربن آلی، می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی عناصر غذایی داشته باشد (Yang *et al.*, 2010). سهم میکروبی خاک، نشان‌دهنده تعادل در اکوسیستم خاک است. همچنین شاخص معدنی‌شدن مواد آلی به‌وسیله میکروب‌های خاک می‌باشد. مقادیر بالای این نسبت نشان‌دهنده نرخ بالای معدنی‌شدن است و می‌تواند نرخ مصرف مواد غذایی خاک را تحریک کند. علاوه بر این، میزان بالای این نسبت بیانگر این است که نگهداری همان مقدار از میکروارگانیسم‌ها به انرژی کمتری نیاز دارد که حاکی از کیفیت بالای خاک برای رشد میکروارگانیسم‌های خاک است (Wen *et al.*, 2014). اثرات منفی میزان شن بر روی سهم میکروبی کربن در خاک‌های مختلف گزارش شده است (Muhammad *et al.*, 2008). این در حالی است که محتوی رس بالا در داخل خاک می‌تواند سهم میکروبی خاک را افزایش دهد (Yang *et al.*, 2010). همچنین، موساتلی و همکاران (Moscatelli *et al.*, 2007) گزارش نمودند که در خاک رویشگاه‌های مختلف بین اسیدهای آلی و سهم میکروبی خاک همبستگی مثبت وجود دارد. مرور منابع (Muhammad *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2010; Wen *et al.*, 2014) بیانگر اثرگذاری مشخصه‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک بر تغییرات سهم‌های میکروبی خاک در رویشگاه‌ها با گونه‌های گیاهی متفاوت می‌باشد. سهم‌های میکروبی خاک شاخص‌های مفیدی برای ارزیابی تغییرات حاصلخیزی خاک به شمار می‌روند (Wang *et al.*, 2011)، که می توانند در ارزیابی وضعیت رویشگاه‌ها مورد توجه قرار گیرند.

نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) در ارتباط با پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه و ویژگی‌های مورد بررسی خاک نشان می‌دهد که محورهای اول و دوم در مجموع ۶۱/۱۱ درصد از تغییرات واریانس

کل را توجیح می‌کند (شکل ۲)، به‌طوری‌که پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه و ویژگی‌های مورد بررسی خاک پراکنش متفاوتی را نشان می‌دهد. همسو با نتایج تحلیل واریانس، نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه های اصلی نیز نشان می‌دهد، مقادیر تخلخل، پایداری، درصد رس، اسیدهای هیومیک و فولویک و میزان ماده آلی خاک رابطه مثبتی با مقدار سهم میکروبی خاک به‌عنوان شاخص حاصلخیزی خاک دارد به طوری که افزایش ویژگی‌های مذکور در خاک زیر تاج‌پوشش درختچه لور موجب افزایش میزان سهم میکروبی و بهبود حاصلخیزی خاک شده است. درحالی‌که میزان شن، جرم مخصوص ظاهری و شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک رابطه منفی با مقدار سهم میکروبی نشان داد. به‌طوری‌که پوشش‌های درختچه‌ای سرخه‌ولیک، زرشک، آلوچه وحشی و سیاه‌تنگرس به‌ترتیب با افزایش میزان شن، جرم مخصوص ظاهری و شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک، موجب کاهش مقدار سهم میکروبی و حاصلخیزی خاک شده‌اند (شکل ۲).

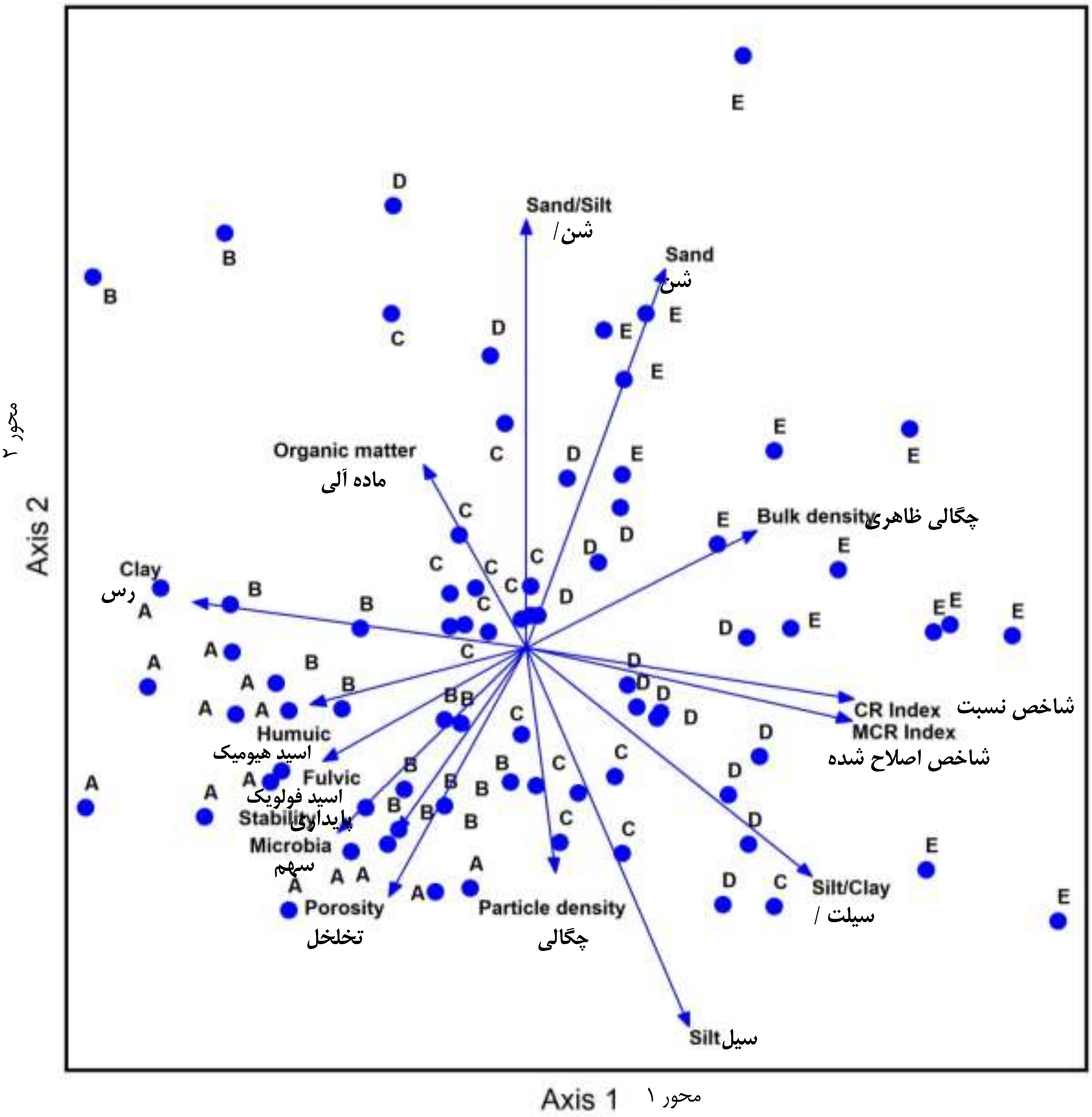
جدول ۳- میانگین (± اشتباه معیار) ویژگی‌های خاک در ارتباط با پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه

Table 3- Mean (± standard error) of soil properties in relation to the studied shrub covers

پوشش درختچه‌ای **Shrub cover**	لور ***Carpinus orientalis***		سرخه ولیک ***Crataegus microphylla***		زرشک ***Berberis integerrima***		آلوچه وحشی ***Prunus spinosa***		سیاه تنگرس ***Rhamnus pallasii***	
ویژگی خاک **Soil properties**	میانگین **Mean**	اشتباه معیار **±SE**	میانگین **Mean**	اشتباه معیار **±SE**	میانگین **Mean**	اشتباه معیار **±SE**	میانگین **Mean**	اشتباه معیار **±SE**	میانگین **Mean**	اشتباه معیار **±SE**
ماده آلی Organic matter (%)	8.09	0.79	7.85	0.88	7.04	0.86	7.12	0.58	6.78	0.84
جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g cm^{-3})	1.13 b	0.03	1.21 b	0.02	1.31 a	0.02	1.38 a	0.02	1.37 a	0.02
جرم مخصوص حقیقی Particle density (g cm^{-3})	2.39	0.03	2.40	0.03	2.40	0.04	2.40	0.04	2.39	0.10
تخلخل Porosity (%)	52.20 a	0.01	49.47 ab	0.01	44.67 bc	0.01	42.13 c	0.01	39.73 c	0.04
پایداری خاکدانه Aggregate stability (%)	68.64 a	2.24	64.11 ab	3.09	58.49 bc	2.12	53.44 cd	2.47	47.73 d	2.92
شن Sand (%)	21.73 d	1.09	23.20 cd	1.23	25.73 bc	1.25	27.86 b	1.37	35.46 a	1.45
سیلت Silt (%)	38.46	1.99	39.86	1.75	40.66	2.02	41.91	2.06	39.20	2.24
رس Clay (%)	39.80 a	1.41	36.93 a	1.00	33.60 b	0.97	30.20 c	1.01	25.33 d	1.25
شاخص CR CR Index	1.56 d	0.10	1.73 cd	0.06	2.01 c	0.10	2.35 b	0.10	3.08 a	0.19
شاخص MCR MCR Index	1.29 d	0.07	1.43 cd	0.05	1.66 bc	0.07	1.91 b	0.08	2.43a	0.15
شاخص شن/ سیلت Sand/Silt Index	0.61	0.07	0.62 b	0.07	0.67 b	0.06	0.71 b	0.07	0.96 a	0.07
شاخص سیلت / رس Silt/Clay Index	1.00 c	0.08	1.10 c	0.06	1.25 bc	0.010	1.43 ab	0.10	1.64 a	0.15
اسید فولویک Fulvic acid (mg 100 g^{-1} soil)	189.60 a	22.57	141.46 b	9.29	97.46 c	9.68	76.80 c	6.70	70.80 c	6.59
اسید هیومیک Humic acid (mg 100 g^{-1} soil)	136.06 a	16.52	73.46 b	9.78	43.73 bc	3.56	33.73 c	4.32	18.40 c	2.57
سهم میکروبی Microbial ratio (MBC/Corg)	83.82 a	3.31	65.35 ab	4.85	67.83 ab	5.70	52.45 bc	4.02	34.84 c	3.12

حروف انگلیسی متفاوت بیانگر وجود تفاوت آماری معنی‌دار در بین پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه می‌باشد.

Different English letters indicate significant differences between the studied shrub covers.



شکل ۲- ارتباط پوشش‌های درختچه‌ای مورد مطالعه و ویژگی‌های خاک در آنالیز PCA (فاکتور اول: مقدار ویژه = ۵/٦٠، درصد واریانس = ۳۷/۳۸، درصد واریانس تجمعی = ۳۷/۳۸ و فاکتور دوم: مقدار ویژه = ۳/۵۵، درصد واریانس = ۲۳/۷۲، درصد واریانس تجمعی = ٦١/۱۱). A: پوشش درختچه‌ای لور، B: پوشش درختچه‌ای سرخه‌ولیک، C: پوشش درختچه‌ای زرشک، D: پوشش درختچه‌ای آلوچه وحشی و E: پوشش درختچه‌ای سیاه تنگرس.

Figure 2- Relationship between the studied shrub cover and soil properties in principal component analysis (PC1; Eigenvalue= 5.60, Percentage of Variance= 37.38, Cumulative Percentage of Variance= 37.38 and PC2; Eigenvalue= 3.55, Percentage of Variance= 23.72, Cumulative Percentage of Variance= 61.11). A; *Carpinus orientalis* Miller., B; *Crataegus microphylla* C. Koch., C; *Berberis integerrima* Bunge., D; *Prunus spinosa* L. and E; *Rhamnus pallasii* Fisch.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تغییر نوع گونه‌های درختچه‌ای در رویشگاه مرتعی بخش کوهستانی کیاکلا شهرستان نوشهر باعث ایجاد تغییرات معنی‌داری در ویژگی‌های مورد بررسی خاک شد. مطابق با یافته‌های این پژوهش، درختچه لور با ایجاد شرایط مناسب، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را در مقایسه با سایر گونه‌های درختچه‌ای در منطقه مورد مطالعه بهبود بخشیده است.

به‌طوری‌که بیشترین مقادیر تخلخل، پایداری خاکدانه، محتوی رس، اسیدهای فولویک و هیومیک و سهم میکروبی در خاک زیر تاج‌پوشش درختچه لور مشاهده شد. این درحالی است که درختچه لور، میزان جرم مخصوص ظاهری، محتوی شن و شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک را به‌طور قابل توجهی کاهش داده است. براساس نتایج تجزیه مؤلفه های اصلی، به‌ترتیب، گونه‌های درختچه‌ای لور، سرخه‌ولیک، زرشک، آلوچه وحشی و سیاه‌تنگرس، قابلیت بیشتری در بهبود ویژگی‌های مورد بررسی خاک داشته است. نتایج این پژوهش مؤید آن است که وجود پوشش درختچه‌ای لور می‌تواند منجربه حفظ ویژگی‌های کیفیت خاک در مراتع کوهستانی شمال کشور گردد. در همین راستا پیشنهاد می‌شود برای احیاء اراضی تخریب‌یافته مرتعی در منطقه مورد مطالعه و همچنین مناطقی با شرایط اکولوژیکی مشابه، در کنار سایر گونه‌های درختچه‌ای بومی منطقه، توجه ویژه به استفاده از گونه لور برای حفاظت خاک گردد.

References

1. Allison, L.E. (1965). Organic carbon. *Methods of soil analysis/Madison, Wisc*, 1367-1376.
2. Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D., & Rothe, A. (2002). Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Annals of Forest Science*, *59*(3), 233-253. https://doi.org/10.1051/forest:2002020
3. Beuschel, R., Piepho, H.P., Joergensen, R.G., & Wachendorf, C. (2020). Impact of willow-based grassland alley cropping in relation to its plant species diversity on soil ecology of former arable land. *Applied Soil Ecology*, *147*, 103373. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103373
4. Blake, G.R., & Hartge, K.H. (1986). Particle density. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, *5*, 377-382. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c14
5. Boudjabi, S., & Chenchouni, H. (2022). Soil fertility indicators and soil stoichiometry in semi-arid steppe rangelands. *Catena*, *210*, 105910. https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105910
6. Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. *Agronomy journal*, *54*(5), 464-465. https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x
7. Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G., & Jenkinson, D.S. (1985). Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *17*(6), 837-842.
8. Cambardella, C.A., Gajda, A.M., Doran, J.W., Wienhold, B.J., Kettler, T.A., & Lal, R. (2001). Estimation of particulate and total organic matter by weight loss-on-ignition. *Assessment Methods for Soil Carbon*, 349-359.
9. Carpenter, D.R., & Chong, G.W. (2010). Patterns in the aggregate stability of Mancos Shale derived soils. *Catena*, *80*(1), 65-73.
10. Chen, Y., Wei, T., Sha, G., Zhu, Q., Liu, Z., Ren, K., & Yang, C. (2022). Soil enzyme activities of typical plant communities after vegetation restoration on the Loess Plateau, China. *Applied Soil Ecology*, *170*, 104292. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104292
11. Gee, G.W., & Orr, D. (2002). Particle-Size Analysis. 255-289. *Methods of soil analysis. Part*, *4*.
12. Guimarães, D.V., Gonzaga, M.I.S., da Silva, T.O., da Silva, T.L., da Silva Dias, N., & Matias, M.I.S. (2013). Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. *Soil and Tillage Research*, *126*, 177-182. https://doi.org/10.1016/j.still.2012.07.010
13. Jafari, M., & Sarmadian, F. (2003). *Fundamentals of Soil Science and Soil Classification*. University of Tehran Press. First Edition. (In Persian)
14. Khatoony, N., & Kolahi, M. (2021). Investigation role and function of rangelands on water. *Journal of Water and Sustainable Development*, *8*(2), 91-104. https://doi.org/10.22067/jwsd.v8i2.1004
15. Kooch, Y., & Noghre, N. (2020). Nutrient cycling and soil-related processes under different land covers of semi-arid rangeland ecosystems in northern Iran. *Catena*, *193*, 104621. https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104621
16. Kooch, Y., Mehr, M.A., & Hosseini, S.M. (2020). The effect of forest degradation intensity on soil function indicators in northern Iran. *Ecological Indicators*, *114*, 106324. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106324
17. Kooch, Y., Rostayee, F., & Hosseini, S.M. (2016). Effects of tree species on topsoil properties and nitrogen cycling in natural forest and tree plantations of northern Iran. *Catena*, *144*, 65-73. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.05.002
18. Kotzé, E., Loke, P.F., Akhosi-Setaka, M.C., & Du Preez, C.C. (2016). Land use change affecting soil humic substances in three semi-arid agro-ecosystems in South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *216*, 194-202. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.007
19. Kumar, K.A.U.S.H.A.L., Tripathi, S.K., & Bhatia, K.S. (1995). Erodibility characteristics of Rendhar watershed soils of Bundelkhand. *Indian Journal of Soil Conservation*, *23*(3), 200-204.
20. Lai, Z., Zhang, Y., Liu, J., Wu, B., Qin, S., & Fa, K. (2016). Fine-root distribution, production, decomposition, and effect on soil organic carbon of three revegetation shrub species in northwest China. *Forest Ecology and Management*, *359*, 381-388. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.04.025
21. Levula, J., Ilvesniemi, H., & Westman, C.J. (2003). Relation between soil properties and tree species composition

in a Scots pine-Norway spruce stand in southern Finland. *Silva Fennica*, *37*(2), 205-218.
22. Li, Y., Zhou, W., Jing, M., Wang, S., Huang, Y., Geng, B., & Cao, Y. (2022). Changes in reconstructed soil physicochemical properties in an opencast mine dump in the Loess Plateau Area of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(2), 706. https://doi.org/10.3390/ijerph19020706
23. Liu, D., Huang, Y., An, S., Sun, H., Bhople, P., & Chen, Z. (2018). Soil physicochemical and microbial characteristics of contrasting land-use types along soil depth gradients. *Catena*, *162*, 345-353. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.028
24. López, R., Gondar, D., Iglesias, A., Fiol, S., Antelo, J., & Arce, F. (2008). Acid properties of fulvic and humic acids isolated from two acid forest soils under different vegetation cover and soil depth. *European Journal of Soil Science*, *59*(5), 892-899. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01048.x
25. Mojtahedi, M.R., & Nik Nahad Qormakher, H. (2013). The effect of changing pasture land use on some physical and chemical properties of soil. First National Conference on Natural Resources Management, 16 pages. (In Persian)
26. Moscatelli, M.C., Di Tizio, A., Marinari, S., & Grego, S. (2007). Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land use systems. *Soil and Tillage Research*, *97*(1), 51-59. https://doi.org/10.1016/j.still.2007.08.007
27. Moscatelli, M.C., Marabottini, R., Massaccesi, L., & Marinari, S. (2022). Soil properties changes after seven years of ground mounted photovoltaic panels in Central Italy coastal area. *Geoderma Regional*, *29*, e00500. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00500
28. Muhammad, S., Müller, T., & Joergensen, R.G. (2008). Relationships between soil biological and other soil properties in saline and alkaline arable soils from the Pakistani Punjab. *Journal of Arid Environments*, *72*(4), 448-457. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.06.016
29. Neher, D.A., Wu, J., Barbercheck, M.E., & Anas, O. (2005). Ecosystem type affects interpretation of soil nematode community measures. *Applied Soil Ecology*, *30*(1), 47-64. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.01.002
30. Nelson, D.W., & Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, *5*, 961-1010. https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34
31. Olaniya, M., Bora, P.K., Das, S., & Chanu, P.H. (2020). Soil erodibility indices under different land uses in Ri-Bhoi district of Meghalaya (India). *Scientific Reports*, *10*(1), 14986. https://doi.org/10.1038/s41598-020-72070-y
32. Osman, K.T., & Osman, K.T. (2013). Physical properties of forest soils. *Forest Soils: Properties and Management*, 19-44.
33. Parkinson, D., & Coleman, D.C. (1991). Microbial communities, activity and biomass. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *34*(1-4), 3-33. https://doi.org/10.1016/0167-8809(91)90090-K
34. Plaster, E.J. (1985). *Soil science and management*. Delmar Publishers Inc., Albany, p 124.
35. Qu, L., Huang, Y., Ma, K., Zhang, Y., & Biere, A. (2016). Effects of plant cover on properties of rhizosphere and inter-plant soil in a semiarid valley, SW China. *Soil Biology and Biochemistry*, *94*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.11.004
36. Sala, O.E., Yahdjian, L., Havstad, K., & Aguiar, M.R. (2017). Rangeland ecosystem services: Nature's supply and humans' demand. *Rangeland systems: Processes, Management and Challenges*, 467-489. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46709-2
37. Schwendenmann, L., Veldkamp, E., Brenes, T., O'brien, J.J., & Mackensen, J. (2003). Spatial and temporal variation in soil CO_2 efflux in an old-growth Neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. *Biogeochemistry*, *64*, 111-128. https://doi.org/10.1023/A:1024941614919
38. Seyghalani, S., Ramezanpour, H., & Kahneh, E. (2015). Effect of *Populus caspica*, *Alnus glutinosa* and *Taxodium distichum* on some soil chemical properties in Forestlands of Astaneh Ashrafieh. *Iranian Journal of Soil Research*, *29*(2), 233-241. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijsr.2015.102217
39. Shahpiri, A. (2022). *Analysis of the variability of detritivores and decomposer organisms in relation to the stoichiometry of plant and soil quality characteristics*. Master's thesis on rangeland, Tarbiat Modares University, 180 pages. (In Persian with English abstract)
40. Sigurðsson, B.D., & Guðleifsson, B.E. (2013). Impact of afforestation on earthworm populations in Iceland.
41. Sircely, J., Conant, R.T., & Boone, R.B. (2019). Simulating rangeland ecosystems with G-Range: model description and evaluation at global and site scales. *Rangeland Ecology & Management*, *72*(5), 846-857. https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.03.002
42. Soltani Toolarood, A.A., Einazi Nai, M., Shahab, H., Ghavidel, A., & Ghasemi, S. (2019). Determination of the most important microbial indicators as soil health index in Cadmium and Lead contaminated soils. *Journal of Environmental Science Studies*, *4*(1), 1142-1150. (In Persian with English abstract)
43. Tan, K.H. (2005). *Soil Sampling, Preparation, and Analysis* (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781482274769
44. Vorobeichik, E.L. (1997). On the methods for measuring forest litter thickness to diagnose the technogenic disturbances of ecosystems. *Russian Journal of Ecology*, *28*(4), 230-234.
45. Wang, B., Liu, G.B., Xue, S., & Zhu, B. (2011). Changes in soil physico-chemical and microbiological properties during natural succession on abandoned farmland in the Loess Plateau. *Environmental Earth Sciences*, *62*, 915-925.

https://doi.org/10.1007/s12665-010-0577-4

46. Weidlich, E.W., Flórido, F.G., Sorrini, T.B., & Brancalion, P.H. (2020). Controlling invasive plant species in ecological restoration: A global review. *Journal of Applied Ecology*, *57*(9), 1806-1817. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13656
47. Wen, L., Lei, P., Xiang, W., Yan, W., & Liu, S. (2014). Soil microbial biomass carbon and nitrogen in pure and mixed stands of *Pinus massoniana* and *Cinnamomum camphora* differing in stand age. *Forest Ecology and Management*, *328*, 150-158. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.037
48. Woloszczyk, P., Fiencke, C., Elsner, D.C., Cordsen, E., & Pfeiffer, E.M. (2020). Spatial and temporal patterns in soil organic carbon, microbial biomass and activity under different land-use types in a long-term soil-monitoring network. *Pedobiologia*, *80*, 150642. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2020.150642
49. Wulanningtyas, H.S., Gong, Y., Li, P., Sakagami, N., Nishiwaki, J., & Komatsuzaki, M. (2021). A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. *Soil and Tillage Research*, *205*, 104749. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104749
50. Yang, K., Zhu, J., Zhang, M., Yan, Q., & Sun, O.J. (2010). Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: a comparison between natural secondary forest and larch plantation. *Journal of Plant Ecology*, *3*(3), 175-182. https://doi.org/10.1093/jpe/rtq022
51. Yoder, R.E. (1936). Direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society of Agronomy*, *28*(5).
52. Zhang, Y., Xu, X., Li, Z., Liu, M., Xu, C., Zhang, R., & Luo, W. (2019). Effects of vegetation restoration on soil quality in degraded karst landscapes of southwest China. *Science of the Total Environment*, *650*, 2657-2665. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.372